

Вченому секретарю спеціалізованої
вченої ради Д 64.052.03
Харківського національного універ-
ситету радіоелектроніки,
проф. Безруку В.М.
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Шандренка Руслана Володимировича на тему “Вдосконалення систем метеорного радіозв’язку шляхом використання в них шумоподібних сигналів”, яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Метеорне поширення радіохвиль відомо досить давно і вже багато десятків років воно використовується для організації радіометеорного зв’язку. Це досить специфічний вид зв’язку, який може використовуватися для передачі відносно невеликих обсягів інформації на відстані до 2000 км. Головними перевагами цього виду зв’язку є його незалежність від будь-яких наземних і космічних каналів, а також складність перехоплення інформації.

Даний вид зв’язку знаходить застосування в системах звірення еталонів часу, в системах попередження про стихійні лиха. В даний час дослідження щодо вдосконалення радіометеорних систем зв’язку ведуться в Японії (університет Кіото), Китаї та США.

Невелика середня пропускна здатність існуючих систем радіометеорного зв’язку (як правило, від декількох сотень до тисячі біт / с) обумовлена, в тому числі, вузькою смугою частот, використовуваної в них (зазвичай, десятки кілогерц). І хоча метеорні поширення радіохвиль можливо в смузі від 30 до 100 і більше МГц, використання такої широкої смуги в практичних цілях - досить складне завдання.

По-перше, амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) метеорного каналу в цій смузі дуже нерівномірна, що призведе до спотворення сигналу. По-друге, в низькочастотній частині спектру можливі перешкоди, обумовлені неметеорними механізмами поширення радіохвиль. Також виникає задача забезпечення електромагнітної сумісності з іншими радіоелектронними засобами (РЕЗ) в широкій смузі і ряд інших. Тому істотно збільшувати швидкість передачі шляхом простого укорочення тривалості інформаційної послідовності неможливо.

Більшість цих задач могло б бути вирішено шляхом застосування сигналів з великою базою або шумоподібних сигналів (ШПС). Але ШПС традиційно

застосовуються в каналах, смуга пропускання яких набагато більше, ніж смуга самого ШПС, а їх поведінка в каналі з нерівномірною АЧХ є неочевидною. Саме розгляду питань застосування ШПС в метеорному радіоканалі присвячена дисертаційна робота Шандренка Р.В. У цієї роботи досліджуються переваги і недоліки використання ШПС з різними характеристиками, розроблена математична модель метеорного радіоканалу (МРК) і новий метод захисту від завад зворотно-похилого зондування (ЗПЗ). Тому дисертаційна робота Шандренка Р. В. «Вдосконалення систем метеорного радіозв'язку шляхом використання в них шумоподібних сигналів» є актуальним науковим дослідженням.

Аналіз змісту дисертаційної роботи

Повний обсяг дисертації Шандренка Р. В. становить 155 сторінок і складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 74 найменувань, і додатків, у які включено 3 акти впровадження результатів досліджень. У роботі наведено 69 рисунків і 14 таблиць.

У вступі автор обґрунтовує актуальність теми й наукових задач; сформульовано мету дисертаційної роботи; відображено об'єкт, предмет, наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів роботи; відображено особистий внесок здобувача; наведено дані про реалізацію, апробації та публікації результатів досліджень.

В першому розділі дисертаційної роботи автором проведений теоретичний огляд характеристик метеорного радіоканалу з практичного застосування його як засобу для передачі інформації. Виконано огляд фізики метеорного поширення радіохвиль, вказано на фактори, які впливають на якість передачі інформації метеорним радіоканалом. Розглянуто амплітудні, частотні та часові характеристики метеорного радіоканалу. На основі цього огляду виділено основні переваги та недоліки метеорного поширення радіохвиль. Зроблено докладний огляд перешкод, що виникають у метеорному радіоканалі, до яких відносяться перешкоди зворотно-похилого зондування іоносфери, перешкоди обумовлені багатопроміневістю, перешкоди обумовленні не повною електромагнітною сумісністю.

Також у першому розділі виконано огляд існуючих систем метеорного радіозв'язку, на основі цього огляду зроблено висновок, що всі вони працюють у вузькому діапазоні частот. Після цього виконаний огляд шляхів можливого підвищення ефективності роботи систем метеорного радіозв'язку. Для цього був проведений аналіз робіт, що велися у цьому напрямку. Вирішення проблеми підвищення швидкості передачі метеорних систем радіозв'язку можливе за рахунок вдосконалення протоколу передачі інформації метеорних систем зв'язку. Ця процедура означає скорочення часу на синхронізацію, та використання методів цифрової обробки сигналу, для якої потрібно пере-

вести системи метеорного радіозв'язку на цифровий протокол. Ці заходи мають змогу підвищити швидкість передачі інформації всього на кілька процентів. Автором запропоновано використання у системах метеорного радіозв'язку шумоподібних сигналів. Особливістю цього методу є те, що інформаційні символи можуть бути скорочені, що дозволить передавати більше інформації за час одного відбиття сигналу від метеорного сліду. Використання спеціального шумоподібного сигналу у системах метеорного радіозв'язку дозволить їм конкурувати із іншими системами зв'язку.

У **другому розділі** автором виконано теоретичне обґрунтування використання шумоподібних сигналів у метеорному радіоканалі. Обґрунтування виконано шляхом розгляду основних проблем, які виникають при передачі сигналу метеорним радіоканалом, та описано, як шумоподібний сигнал здатен зменшувати вплив того чи іншого негативного фактору на сигнал, що передається. Зроблено теоретичне обґрунтування факту того, що шумоподібний сигнал дозволяє боротися із спотворенням сигналу в результаті багатопромєневості. Також у цьому розділі описаний метод боротьби із перешкодою зворотного-похилого зондування іоносфери. Цей метод був розроблений автором у співавторстві. Метод передбачає використання кількох різних модулюючих послідовностей для шумоподібного сигналу, і прийом сигналу закодованого певною модулюючою послідовністю в момент ймовірного приходу сигналу відбитого від метеорного сліду. При цьому сигнали, що були відбиті від іоносфери і який є шкідливим, не приймаються, в результаті чого досягається висока якість приймання корисного сигналу. Також у розділі виконано теоретичний огляд різних видів шумоподібних сигналів. В заключенні розділу приведено аналіз перешкод, що виникають у метеорному радіоканалі, а також як той чи інший вид шумоподібного сигналу здатен боротися із кожною із перешкод. Результатом розділу можна вважати вибір кількох видів шумоподібних сигналів, які дозволяють боротися із усіма видами перешкод метеорного радіоканалу. Відкритим залишається питання про поведінку вибраних видів шумоподібних сигналів під впливом нерівномірної амплітудно-частотної характеристики, що має МРК.

У **третьому розділі** автором розроблено математичку модель метеорної системи зв'язку, що включає в себе модель формування шумоподібного сигналу, модель МРК, та блок обробки сигналу. Головною метою при розробці моделі є перевірка якості сигналу, що пройшов у разі віддзеркалення від сліду метеору.

Математична модель МРК розроблена із врахуванням математичного апарату, характеристики співпадають із характеристиками метеорного радіоканалу. Ці характеристики є перевірені іншими вченими, про що свідчать велика кількість посилань на інші джерела, в тому числі на наукові статті. Дос-

товірність адекватності цієї моделі базується на експериментальному підтвердженні співвідношень, на яких побудована модель.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений моделюванню проходження різних видів сигналів через МРК. Спочатку було проведено моделювання сигналів які використовуються в існуючих системах метеорного радіозв'язку, потім проведено моделювання проходження різних шумоподібних сигналів, із різними базами, та різними модулюючими послідовностями в них. В результаті моделювання виконано вибір виду сигналу, який найбільш підходить для передачі по метеорному радіоканалу, за критерієм найменшої ймовірності бітової помилки. Крім цього, в розділі виконано моделювання різного положення частотних складових сигналу. Наприкінці розділу викладено порядок вибору сигналу для систем метеорного радіозв'язку включаючи вибір шумоподібного сигналу.

У висновках дисертації викладено отримані автором найбільш важливі наукові і практичні результати.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність

Усі наведені в дисертації наукові положення, висновки та рекомендації достатньо обґрунтовані і вірогідні, що забезпечується грамотним використанням методів кореляційного аналізу, математичної статистики та моделювання, методів обробки шумоподібних сигналів, вірним трактуванням результатів обробки. В дисертаційній роботі Шандренка Р.В. у різних розділах були використані різні наукові методи на основі яких досягнуте адекватне моделювання. Адекватність моделі досягається грамотним використанням методів аналізу та обробки сигналів.

Обґрунтованість наукових результатів дисертаційної роботи і достатньо високий ступінь обґрунтованості підтверджені тим, що її результати сходяться із результатами отриманими іншими вченими. Підтвердженням достовірності отриманих у дисертаційній роботі результатів є позитивні результати моделювання проходження шумоподібних сигналів через метеорний радіоканал, та адекватні значення ймовірності бітової помилки.

Прийняті в роботі спрощення і наближення, вимоги до вибору шумоподібного сигналу повністю обґрунтовані.

Наукова новизна дисертації

До наукових результатів дисертаційної роботи Шандренка Р.В. можна віднести наступне:

1. Вперше розроблено новий метод захисту метеорних систем радіозв'язку від перешкод зворотно-похилого зондування, що відрізняється від існуючих використанням ансамблів шумоподібних сигналів із низьким рівнем взаємної кореляції. Цей метод включає в себе розробку модулюючих послідовностей, які мають кореляційні характеристики, що дозволяють

зменшити вплив шкідливого сигналу іоносфери на приймальний пристрій.

2. Вперше розроблено модель метеорного радіоканалу, яка дозволяє проводити моделювання проходження сигналів через метеорний радіоканал, що відрізняється від існуючих тим, що вона описує характеристики метеорного радіоканалу у широкій смузі частот. Модель також включає в себе моделювання часових характеристик метеорного радіоканалу, та вплив основних типів перешкод, що виникають під час роботи метеорної системи радіозв'язку.

3. Вперше розроблено вимоги до вибору сигналу для застосування його в системах метеорного радіозв'язку, що відрізняється від існуючих тим, що в них описаний порядок вибору виду шумоподібного сигналу в залежності від задач, які необхідно вирішити. Вимоги до вибору сигналу ґрунтуються на результатах математичного моделювання, а також із врахуванням характеристик метеорного радіоканалу.

Практична значимість роботи

Розроблено метод активного захисту систем метеорного радіозв'язку, який базується на використанні шумоподібних сигналів із різними модулюючими послідовностями. Практична значимість цього методу полягає в тому, що він може бути застосований і для протидії іншим видам перешкод, і навіть у інших системах зв'язку.

Математична модель МРК може бути використана для моделювання проходження інших сигналів по метеорному радіоканалу. Крім цього, можливо моделювання проходження сигналу, при впливі широкосмугових перешкод.

Методика вибору сигналу для систем метеорного радіозв'язку, що включає в себе порядок вибору простих і шумоподібних сигналів, може бути використана розробником реальної системи метеорного радіозв'язку.

Сигнал, що запропоновано в дисертації Шандренка Р.В., дозволяє збільшити швидкість метеорних систем радіозв'язку в 7 раз у порівнянні із існуючими системами зв'язку.

Апробації й публікації результатів дисертаційної роботи, повнота їх викладу.

Основний зміст дисертації Шандренка Р.В. викладено в 6 статтях, опублікованих у періодичних виданнях, що входять у затверджений перелік спеціалізованих видань України. Із цих статей 2 вийшли в журналах, які входять до міжнародних наукометричних баз. Наукові положення, пропозиції та висновки, які містяться в дисертаційній роботі, викладені у 9 доповідях на галузевих та міжнародних науково-практичних конференціях.

Тому основні результати дисертації досить повно апробовані й відомі фахівцям. Повнота відображення результатів дисертаційних досліджень і вимоги до кількості публікацій відповідають встановленим вимогам.

Оформлення й відповідність змісту автореферату й дисертаційної роботи.

Оформлення, стиль і мова викладу, обсяг дисертації, її структура відповідають установленим вимогам. Задачі і їх рішення викладені аргументовано. Робота викладена з коректним використанням науково-технічної термінології. В авторефераті приведені об'єкт, предмет і методи досліджень, мета, розв'язувані задачі, наукова новизна, практична значимість отриманих результатів, відомості про впровадження й апробації результатів дисертаційних досліджень. Вказується особистий внесок у кожен публікацію Шандренка Р.В. Зміст автореферату у повній мірі відповідає змісту дисертації.

Область можливого використання результатів дисертації

Результати дисертації Шандренка Р.В. можуть бути використані:

- в області метеорної астрономії;
- при створенні систем метеорного радіозв'язку;
- у навчальних закладах, що готують спеціалістів у галузі розробки та експлуатації радіосистем зв'язку.

Зауваження до дисертаційної роботи і автореферату.

Дисертаційна робота Шандренка Р.В. виконана на високому рівні, однак вона має ряд недоліків.

1. Відомо, що метеорні сліди в залежності від лінійної електронної щільності бувають ненасиченими і насиченими. Відбиття радіохвиль від слідів різних типів дещо відрізняється. Але в запропонованій здобувачем моделі МРК ці відмінності не враховуються.

2. У деяких роботах по використанню ШПС в метеорному радіоканалі розглядається ЛЧМ-сигнал. На жаль, в роботі здобувача цей сигнал не моделюється.

3. В описі моделювання проходження сигналу по МРК представлені характеристики ймовірності бітової помилки, однак які спотворення знає сигнал у часовій і частотній області в роботі не показано.

4. У четвертому розділі після моделювання проходження дискретних-складних шумоподібних сигналів із різними базами зроблено висновок про діапазон баз, які рекомендовані для передачі. Очевидно, що використовувалися різні модулюючі послідовності. Доцільно було б визначити вплив різних модулюючих послідовностей на сигнал із одним і тим самим значенням бази.

5. В третьому розділі описаний блок вузькосмугової системи зв'язку, який ставить перешкоду для системи метеорного радіозв'язку. В ході

моделювання вплив вузькосмугового передавача був включений, однак відкритим залишається питання, як буде впливати той чи інший шумоподібний сигнал на роботу вузькосмугової системи радіозв'язку.

6. Також є деякі стилістичні помилки і помилки в оформленні (зокрема, на стор. 32, 50, 101).

Висновки

Недоліки що були виявлені в роботі не ставлять під сумнів високу наукову та практичну значимість дисертаційної роботи Шандренка Р.В. Дисертація є завершеною науковою працею в результаті якої вирішена актуальна наукова задача підвищення швидкості передачі інформації метеорних систем радіозв'язку, а також вибору сигналу. Ця наукова праця є завершеною, однак в подальшому вона відкриває шлях новим дослідженням у цій сфері. Отримані наукові результати підтверджені на основі моделювання.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п. 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань» ВАК України до кандидатських дисертацій, а здобувач заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – «Радіотехнічні та телевізійні системи».

Зав. відділом обробки радіосигналів
ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України,
докт. техн. наук, професор

 / А.Ф. Величко /

Підпис зав. відділом ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України,
д.т.н., проф. Величко А.Ф. ЗАВІРЯЮ

Вчений секретар ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України,
канд. фіз.-мат. наук



 І.Е. Почанина